不同浓度亚硒酸钠溶液对水杉种子萌发的影响

郭秋菊*，王志鸣，邓桢珍

（湖北民族学院林学园艺学院，湖北省，恩施，445000）

摘要：水杉被誉为植物界的“活化石”，天然水杉原生群落仅分布在恩施州利川、重庆石柱、湖南龙山三县的局部地区。硒元素是植物生长所需的微量元素。在水杉母树主要生长所在地–恩施境内形成立体的硒资源环境，而该区的水杉群落天然更新困难，林下鲜见更新幼苗或者幼树。因此结合硒资源，研究硒元素与水杉种子萌发的相互关系对水杉的天然更新繁育具有重要意义。该研究通过测定不同环境条件下（温度：20℃、25℃、30℃；光照：12 h 光照/12 h 黑暗、24 h 全黑暗；是否浸种）原生水杉 *Metasequoia glyptostroboides* 下种种子的萌发率，筛选出最适萌发条件，在此条件下采用不同浓度的亚硒酸钠（0、0.25、0.5、1.0、2.0、4.0、8.0、16.0 $mg\cdot L^{-1}$）对水杉种子进行处理，并观察其萌发的变化，以揭示硒元素对水杉种子发芽的影响。结果表明：使用硒浓度为 0.25 $mg\cdot L^{-1}$ 的亚硒酸钠溶液处理水杉种子时，种子的发芽率、发芽势和发芽指数都为最高，分别为 34.0%、29.0%、13.9；当硒浓度大于 0.25 $mg\cdot L^{-1}$ 时，水杉种子的发芽率、发芽势和发芽指数开始随着浓度的增加而降低，在硒浓度为 16.0 $mg\cdot L^{-1}$ 时，三个指标都达到最低值，分别为 0.5%、0%、0.025。由此可知，低浓度的硒处理（0～0.25 $mg\cdot L^{-1}$）对水杉种子的萌发有一定的促进作用，而当用高浓度的硒处理（＞0.25 $mg\cdot L^{-1}$）对水杉种子的萌发则有一定的抑制作用。研究结果可为水杉种子的田间育苗以及天然更新机制研究提供一定的理论支撑。

关键词：水杉种子；硒浓度；萌发

中图分类号：S754　　　文献标识码：A

Influences of different sodium selenite concentrations on seed germination of *Metasequoia glyptostroboides*

GUO Qiu-ju*; Wang Zhi-ming; Deng Zhen-zhen

（*School of Forestry and Horticulture of Hubei University for Nationalities* Enshi, Hubei 445000）

Abstract: *Metasequoia glyptostroboides* is known as the "living fossil" in the plant world. The native communities of natural *Metasequoia glyptostroboides* are distributed only in some areas of Enshi Lichuan, Chongqing Shizhu and Hunan Longshan three counties. Selenium is a trace element needed for plant growth. Enshi in which the stereoscopic natural selenium resources have been formed is the main growing place for the seed trees of *Metasequoia glyptostroboides.* The *Metasequoia glyptostroboides* communities in this area are difficult to regenerate naturally, and

基金项目：国家自然科学基金（81303169）；湖北省教育厅科学研究计划项目（B2015102）。[Supported by the National Natural Science Foundation of China 81303169；Educational Commission of Hubei Province of China B2015102]。

作者简介：郭秋菊（1984－），女，呼和浩特市，博士，讲师，主要从事森林可持续经营，（Email）:724185298@qq.com。

*通信作者：郭秋菊，博士，硕士生导师，主要从事森林可持续经营,（Email）:724185298@qq.com。

seedlings or saplings are rarely seen under the forest. Therefore, studying the relationship between selenium and *Metasequoia glyptostroboides* seed germination based under this environments will have great significance to keep *Metasequoia glyptostroboides* sustainable development. According to this ecological significance, the germination rate of *Metasequoia glyptostroboides* seeds was determined under different environmental conditions (temperature:20, 25, 30 ℃ , light:12 hLight/12 h dark cycle, pre-soaking or no-soaking), and the optimum germination conditions were selected. Under this selected conditions, different concentrations of sodium selenite (0, 0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0, 16.0 $mg \cdot L^{-1}$) were used to soak the seeds of *Metasequoia glyptostroboides* and their germination changes were observed. The results showed that the highest value of the average germination rate (34.0%), average germination potential (29.0%) and average germination index (13.9) of *Metasequoia glyptostroboides* seeds were appeared at the soaking concentration of 0.25 $mg \cdot L^{-1}$. The germination rate, germination energy and germination index of *Metasequoia glyptostroboides* seeds were decreased with the increase of sodium selenite concentration when the concentration higher than 0.25 $mg \cdot L^{-1}$, and the values got the lowest at 16.0mg/L, which were 0.5%, 0% and 0.025, respectively. It can be proved that the low concentration of sodium selenite (0-0.25 $mg \cdot L^{-1}$) can promote the germination of *Metasequoia glyptostroboides* seeds, while the treatment with high concentration of sodium selenite (>0.25 $mg \cdot L^{-1}$) has some certain inhibitory effects on the germination of *Metasequoia glyptostroboides* seeds. The findings will prove some theoretical support for field nursery and natural regeneration of *Metasequoia glyptostroboides.*

Keywords: *Metasequoia glyptostroboides* seed ; selenium concentration; germination

分布于湖北恩施利川的天然水杉为杉科 Taxodiaceae 水杉属 *Metasequoia* 单种属植物，是国家一级保护植物（宗书领等，2012）。由于它生长迅速，树形高大笔直，材质轻软，因此常被用作庭园观赏树和用材树。此外人们还发现水杉含有的多种黄酮类化合物，对心肌细胞有保护作用，种子中也含有多种活性成分（杨俊杰等，2010），因此在医药化工和农业应用等方面，也有着广阔的应用前景（田伟等，2006）。水杉是研究孑遗物种遗传结构的理想代表，它的生态、经济和社会文化价值被世界各国所认可，但是水杉自然更新困难（尤冬梅，2008），发芽率低，林下未见有幼苗、幼树更新，因此天然种群处于衰退状态。

硒在植物的生理过程中起着重要的作用。硒能促进种子萌发，如硒酸钠溶液可促进荞麦 *Fagopyrum esculentum*、大豆 *Glycine max*、花生 *Arachis hypogaea* 、芸豆 *Phaseolus vulgaris* 等种子的发芽，但这种促进作用与硒浓度有密切关系（郁飞燕，2012）。恩施土壤硒最高 178.8 $\mu g \cdot g^{-1}$，平均 19.11 $\mu g \cdot g^{-1}$，高于我国乃至世界许多地区，硒的地质资源十分丰富（唐巧玉，2004）。在该区境内，以小河为中心的山区栖息着世界上惟一现存的水杉原生种，这样的分布与该区硒资源的分布是否有耦合关系，目前还尚未有报道。

种子是种子植物的繁殖体，也是植被恢复和重建的物质基础。目前，对于水杉种子的研究主要是关于其贮藏条件（傅紫芰，1981）、发芽条件（廖绍忠和周万良，1989）、种子萌发的生理生态特性（辛霞等，2004）研究以及枯落物对其萌发影响等研究（尤冬梅和马广礼，2008），而关于硒对水杉种子萌发的影响这一方面的研究未见报道。因此，针对水杉原生母树所在地区特色硒资源，研究其对水杉种子萌发的影响作用，对水杉的天然更新繁育具有一定现实意义。

1. 材料与方法

1. 1 试验材料

材料：种子来自恩施州利川市忠路镇合心村原生水杉母树 4541 号（海拔 1 153 m，经度：108° 38'53"，纬度：30° 07'20"，85 年生，树高 30 m，胸径 105.6 cm）。于 2017 年 10 月份进行采种，千粒重 2.47 g。采种后种子用密封袋封存放入 4 ℃冰箱（景丹龙等，2011）冷藏备用。

试剂：75%酒精、亚硒酸钠试剂、蒸馏水。

器材：水浴锅、电子天平、烧杯、培养皿、滴定管、滤纸、纱布、玻璃棒等。

1.2 试验方法

采用影响种子萌发的三个主要条件：温度、光照、是否浸种作为初始条件，找出水杉种子萌发的最佳条件。

（1）浸种

首先人工筛选大小一致，相对饱满的 2 400 粒水杉种子，用 75%酒精溶液消毒处理 1 min 后，再用蒸馏水冲洗五遍，用滤纸吸去多余的水分。其中 1 200 粒放在 45℃蒸馏水中浸种 48 h（李会芳等，2006），使种子充分吸水，然后将种子滤出，剩下 1 200 粒不浸种。

（2）光照

光照条件为模拟自然 12 h 光照/12 h 黑暗恒温催芽和 24 h 全黑暗处理催芽。全黑暗处理条件下将装有水杉种子的培养皿包上锡箔纸并套上多层黑色塑料袋同样放置在 12 h 光照/12 h 黑暗恒温培养箱内，在绿光等下进行种子观测。

（3）温度

将以上经过浸种和光照处理的种子放分别在温度为 20℃、25℃、30℃（此三个温度梯度的设置是在已有实验结果的基础上进行，研究成果未发表）的恒温箱里进行恒温催芽。总共 12 个处理，每处理 50 粒种子，重复 4 次。为了维持培养皿内的水分，之后每隔 24 h 观察一次，进行萌发检测、统计萌发个数，并适量添加蒸馏水，保持滤纸湿润。

（4）不同浓度外源硒

人工筛选大小一致，相对饱满的 1 600 粒水杉种子。配置浓度分别为 0（CK）、0.25、0.5、1.0、2.0、4.0、8.0、16.0 mg • L^{-1} 的亚硒酸钠溶液，将水杉种子放在不同浓度的亚硒酸钠溶液中浸种 12 h，使种子充分吸水，然后将种子滤出。按试验设计每个处理选取 50 粒种子，4 个重复。将种子放入事先已放好滤纸的 9 cm 培养皿，加入适当的蒸馏水保持滤纸湿润，之后每隔 24 h 观察一次，进行萌发检测、统计萌发个数，并适量添加蒸馏水，保持滤纸湿润。

1.3 测定指标与计算

从种子放进培养箱开始，每隔 24 h 对各培养皿内种子发芽的情况进行观察记录，以肉眼看到白色的幼根为标准，判断种子是否萌发。每一组保证观察时差在 10 min 之内，共观察 4 个星期。通过记录的数据，对每种处理种子的发芽率、发芽势和发芽指数。

（1）发芽率 *G*=发芽种子数 *Ga*/供试种子数 *Gn*×100%

（2）发芽势=第七天发芽种子数 *G7*/供试种子数 *Gn*×100%

（3）发芽指数 *GI*=$\sum G_t/D_t$，其中 *Gt* 为与 *Dt* 相对应的每天发芽种子数，*Dt* 为发芽天数。

1.4 数据处理

采用 Excel 软件记录转换数据，SPSS 18.0 软件进行数据统计分析，GraphPad Prism 5 绘制统计图。对不同浓度亚硒酸钠对水杉种子萌发指标的影响结果进行方差分析和多重比较

（Ducan），显著性水平均设定为α=0.05。

2. 结果与分析

2.1 初始条件对水杉种子萌发的影响

温度、光照和是否浸种三个条件对水杉种子萌发的影响结果如图 1。

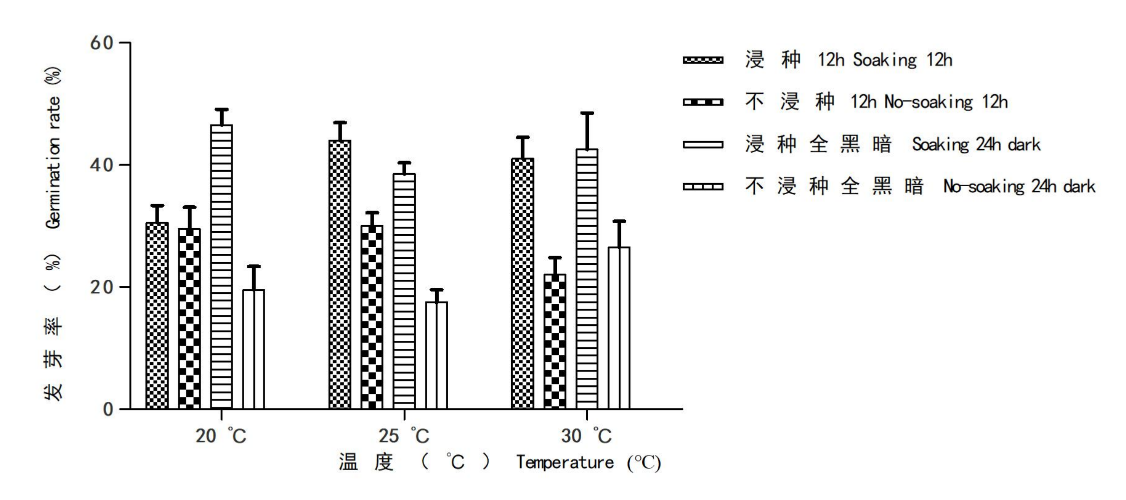


图 1 温度+光照+是否浸种处理下种子平均发芽率 单位：%

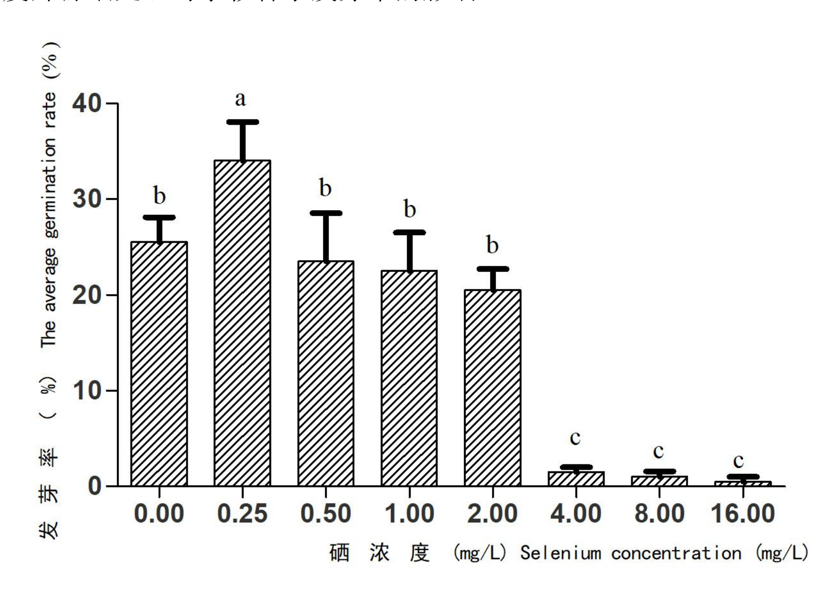
Fig.1 The average germination percentage under temperature+light+(no)soaking treatments

由图 1 可知，水杉种子在温度、光照、浸种三个处理条件下，萌发率呈现出不同的变化趋势。在 20℃时，浸种、全黑暗的平均发芽率最高为 46.5%，分别比浸种、12 h 光暗交替的平均发芽率和不浸种、12 h 光暗交替的平均发芽率高 16%和 17%，最低的平均发芽率出现在不浸种、全黑暗的处理条件下，平均发芽率仅为 19.5%。在 25℃时，平均发芽率最小值为不浸种、全黑暗处理下的 17.5%，最高值出现在浸种、12 h 光暗交替的条件下，平均发芽率为 44%。浸种、全黑暗和不浸种、12 h 光暗交替的平均发芽率无显著差异。30℃时浸种、全黑暗的条件下平均发芽率最高，为 42.5% 高于浸种、12 h 光暗交替的平均发芽率 1.5%；比不浸种、12 h 光暗交替的平均发芽率和不浸种、全黑暗的平均发芽率高 21%。由此可知，水杉种子在 20℃、浸种、全黑暗的条件下萌发率最高。

对温度和光照以及是否浸种处理下水杉种子的平均发芽率进行方差分析，结果表明温度（$P=0.821$）、光照对水杉种子发芽率影响不显著（$P=0.583$），而是否浸种（$P=0.000$）对水杉种子发芽率影响极显著；温度和光照（$P=0.020$）、光照和是否浸种（$P=0.013$）对水杉种子发芽率影响显著，而温度耦合是否浸种（$P=0.685$）对水杉种子发芽率影响不显著；温度、光照、是否浸种三个因素作用下（$P=0.015$）对水杉种子发芽率影响显著。综上所述，筛选出 20℃、浸种、全黑暗的条件作为不同硒浓度处理水杉种子的基本试验条件。

2.2 不同浓度外源硒处理对水杉种子萌发的影响

2.2.1 不同浓度外源硒处理对水杉种子发芽率的影响



注： 不同小写字母表示处理间差异显著（P<0.05）。

Note:Different small letters mean significant differences between treatment (P<0.05).

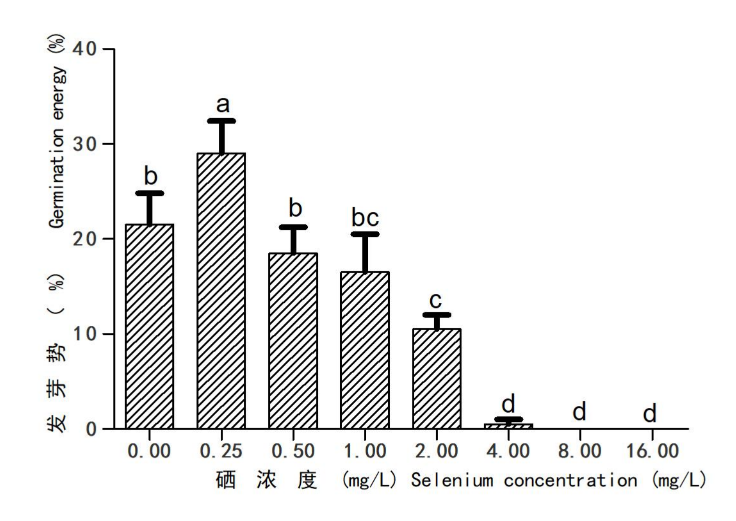
图 2 不同浓度外源硒处理下种子平均发芽率 单位：%

Fig.2 The average germination percentage under different concentrations of exogenous sodium selenite unit:%

萌发率对苗木的生长发育具有重要作用。由图 2 可知，不同硒浓度对水杉种子的萌发有显著影响作用（*P=0.000*）。水杉种子在硒浓度为 0.25 mg·L^{-1} 种子的平均发芽率最高，为 34.0%，高于对照（0 mg·L^{-1}）8.5%，在硒浓度为 0.5 mg·L^{-1} 后，种子的平均发芽率开始随着硒浓度的增大而逐渐下降，到 4.0 mg·L^{-1} 种子的平均发芽率骤然降低到 1.5%, 8.0 mg·L^{-1} 和 16.0 mg·L^{-1} 时种子的平均发芽率仅为 1.0%和 0.5%。由此可知，当硒浓度为 0～0.25 mg·L^{-1} 时，对水杉种子的萌发有一定促进作用，且在硒浓度为 0.25 mg·L^{-1} 时促进作用最明显。而当用硒浓度大于 0.25 mg·L^{-1} 处理水杉种子时则表现为一定的抑制作用，且浓度越高抑制作用越明显，并且在硒浓度为 16.0 mg·L^{-1} 时抑制作用最明显。

硒浓度为 0、0.5、1.0、2.0 mg·L^{-1} 的平均发芽率与硒浓度为 4.0、8.0、16.0 mg·L^{-1} 的平均发芽率差异显著，硒浓度为 0 mg·L^{-1} 的平均发芽率与硒浓度为 0.5 mg·L^{-1}、1.0 mg·L^{-1}、2.0 mg·L^{-1} 的平均发芽率均差异不显著，硒浓度为 0.25 mg·L^{-1} 的平均发芽率与硒浓度为 0、1.0、2.0、4.0、8.0、16.0 mg·L^{-1} 的平均发芽率均差异显著，且平均发芽率为最高。

2.2.2 不同浓度外源硒处理对水杉种子发芽势的影响



注： 不同小写字母表示处理间差异显著（P<0.05）。

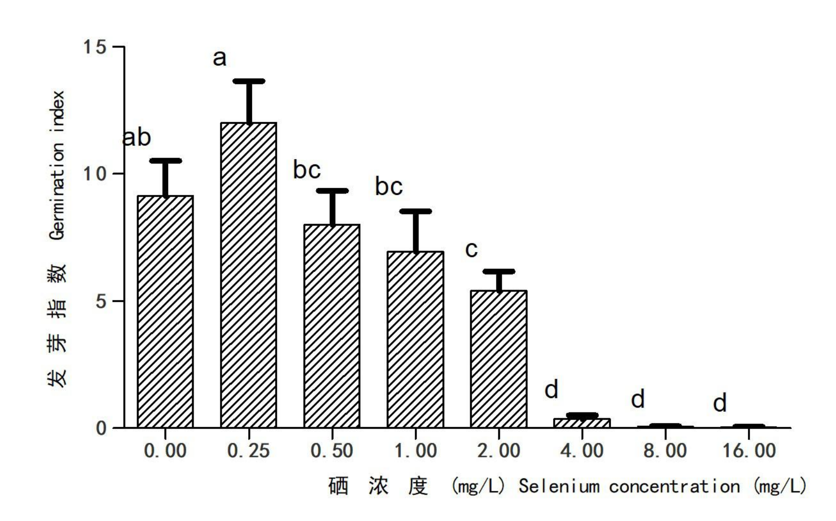
Note:Different small letters mean significant differences between treatment (P<0.05).

图 3 不同浓度外源硒处理下种子平均发芽势 单位：%

Fig.3 The average germination energy under different concentrations of exogenous sodium selenite unit:%

不同硒浓度对水杉种子的发芽势有极显著影响（*P=0.000*）（图 3）。硒浓度为 0.25 mg·L^{-1} 的平均发芽势与其它硒浓度处理均差异极显著（*P=0.000*）。水杉种子在硒浓度为 0.25 mg·L^{-1} 种子的平均发芽势最高（29.0%），分别比对照 0 mg·L^{-1}、0.5 mg·L^{-1}、1.0 mg·L^{-1}、2.0 mg·L^{-1} 的平均发芽势高 7.5%、10.0%、12.5%、18.5%。在硒浓度为 4.0 mg·L^{-1} 种子的平均发芽势仅为 0.5%，而在硒浓度为 8.0 mg·L^{-1} 和 16.0 mg·L^{-1} 时种子的平均发芽势为 0。由上所述，水杉种子在硒浓度为 0.25 mg·L^{-1} 时种子的发芽势最高，其次是 0 mg·L^{-1}，当硒浓度达到以及超过 0.5 mg·L^{-1} 时，水杉种子的发芽势开始明显降低，这表明当硒浓度为 0～0.25 mg·L^{-1} 时，对水杉种子萌发的发芽势有促进作用，且在硒浓度为 0.25 mg·L^{-1} 时促进作用最明显。而当用硒浓度大于 0.25 mg·L^{-1} 处理水杉种子时则表现为一定的抑制作用，且浓度越高抑制作用越明显，并且在硒浓度为 16.0 mg·L^{-1} 时抑制作用最明显。

2.2.3 不同浓度外源硒处理对水杉种子发芽指数的影响



注： 不同小写字母表示处理间差异显著（P<0.05）。

Note:Different small letters mean significant differences between treatment (P<0.05).

图 4 不同浓度外源硒处理下种子平均发芽指数

Fig.4 The average germination index under different concentrations of exogenous sodium selenite

种子的发芽指数是反映种子活力大小的重要指标。研究表明适宜浓度的亚硒酸钠溶液对水杉种子的发芽指数有促进作用。由图 4 可知，水杉种子在不同外源硒浓度作用下种子平均发芽指数呈现单峰型变化。当硒浓度为 0.25 mg·L^{-1} 时种子的平均发芽指数达到最大值（13.9）其次是对照（9.1）。随着外源硒浓度逐渐升高，水杉种子的平均发芽指数逐渐下降，当硒浓度为 4.0 mg·L^{-1} 时，水杉种子的平均发芽指数骤然下降到 0.35，在硒浓度为 8.0 mg·L^{-1} 和 16.0 mg·L^{-1} 时，水杉种子的平均发芽指数低于 0.1。以上结果表明水杉种子在硒浓度为 0.25 mg·L^{-1} 时种子的发芽指数最高。硒浓度为 0～0.25 mg·L^{-1} 时，对水杉种子萌发的发芽指数有促进作用，且在硒浓度为 0.25 mg·L^{-1} 时促进作用最明显。而当用硒浓度大于 0.25 mg·L^{-1} 处理水杉种子时则表现为一定的抑制作用，且浓度越高抑制作用越明显，并且在硒浓度为 16.0 mg·L^{-1} 时抑制作用最明显。

3. 讨论

萌发率对林木的更新生长具有重要作用（Yilmaz，2008）。水杉天然更新极其困难，主要是由于两个方面的原因导致：首先是因为水杉林下凋落物较厚，水杉母树下种后，种子质量太轻不能直接地接触土壤；其次是水杉种子质量差导致种子的发芽率极低。水杉种子在大田里发芽率仅为 18%（尤冬梅等，2008）。本研究结果显示在不同环境条件下水杉种子的平均发芽率平均达到 35%，其中最高可达 47%。

水杉种子在 20 ℃、浸种、全黑暗的条件下平均发芽率最高，而在 25 ℃、不浸种、全黑暗的条件下平均发芽率最低。光照、浸种和发芽温度三因素中，以浸种对水杉种子发芽影响较大，这与廖绍忠等人的研究结果相一致（廖绍忠和周万良，1989）。在一定温度范围内，温度变化对水杉种子的萌发影响作用较小。不同光照条件下，水杉种子的萌发率没有极显著差异，但是在全黑暗条件下水杉种子的萌发率较高，这表明水杉种子是一种光敏感种子（辛霞等，2004；景丹龙等，2011）。

硒参与植物的生物抗氧化、新陈代谢等（韩广泉等，2010），并改变酶活性。一些研究报道硒能显著促进大豆（何士敏等，2011；何士敏等，2012）、小麦 *Triticum aestivum*（缪

淑寅等，2013）等作物种子的萌发。本研究结果显示不同外源硒浓度对水杉种子的发芽率、发芽势、发芽指数都有极显著的影响作用。当硒浓度为 0.25 mg·L^{-1} 时，种子的平均发芽率、平均发芽势、平均发芽指数都达到最大值，当硒浓度为 16.0 mg·L^{-1} 时，种子的平均发芽率、平均发芽势、平均发芽指数都达到最小值。水杉种子萌发的三项指标，即发芽率、发芽势、发芽指数，随着硒浓度的增加呈先上升后下降的趋势。由此得出，低浓度的硒溶液（0～0.25 mg·L^{-1}），对水杉种子萌发有一定的促进作用，且在硒浓度为 0.25 mg·L-时促进作用最明显。而当用高浓度的硒溶液（＞0.25 mg·L^{-1}），对水杉种子的萌发有一定的抑制作用，且浓度越高抑制作用越明显，并且当硒浓度高于 4.0 mg·L^{-1} 时，抑制作用越趋明显。李会芳等（2006）的研究显示当硒质量浓度在 0.05 mg·L^{-1} 左右时，能够提高大豆种子的萌发率，增加大豆种子的发芽势和发芽指数。硒作为植物的一种微量元素，在一定浓度时可以增加渗透调节物质的含量，提高玉米种子的发芽能力（许兴泽等，2017）。当浓度过高（＞0.05 mg·L^{-1}）时则表现为明显的抑制作用。这与本研究以及其它硒对种子萌发的影响研究相一致（毛晖和王朝晖，2011；何士敏等，2012）。具体表现为较低浓度的硒浸种能促进种子萌发和幼苗生长，超过某一临界浓度时，则抑制种子萌发和幼苗生长。这可能是影响种子萌发力大小的水解淀粉酶活力受到硒离子强度的胁迫，从而导致萌发率低，生长缓慢（林匡飞等，2004）。这种影响作用因物种、浸种时间的不同而变化。每个物种最适宜萌发的硒浓度不同，这与物种间的遗传性质有关（周大寨等，2007；缪淑寅等，2013），也与物种的萌发过程中相关酶的活性表达有关（张弛等，2003；韩广泉等，2010）。

本次试验所设置的硒浓度梯度是借鉴其它研究（赵巍，2011；杨亚等，2012；李红侠等，2012）的实验成果总结得来的，具有一定的局限性。在现实中硒往往伴随着镉的共同作用，同时不同价态的硒对种子萌发与幼苗生长是否有不同影响，因此不同价态的硒浓度处理对水杉种子萌发以及生长发育的影响等都有待于进一步研究。

4. 结论

通过测定不同环境条件下（温度、光照、是否浸种）水杉种子的萌发率，得出水杉种子在 20℃、浸种、全黑暗的条件下平均发芽率最高。硒对水杉种子的发芽率、发芽势、发芽指数都具有极显著的影响。低浓度的硒溶液（0～0.25 mg·L^{-1}），对水杉种子萌发有一定的促进作用，且在硒浓度为 0.25 mg·L^{-1} 时促进作用最明显，水杉种子的平均发芽率、平均发芽势、平均发芽指数都达到最大值；而当用高浓度的硒溶液（＞0.25 mg·L^{-1}），对水杉种子的萌发有一定的抑制作用，且浓度越高抑制作用越明显，并且在硒浓度为 16.0 mg·L-1 时抑制作用最明显。种子的发芽活力与整齐度直接影响更新幼苗的建成，该研究结果显示一定浓度的外源硒可促进水杉种子的发芽，并保证发芽活力与整齐度，因此在今后的生产实践中可在适合的季节时采用一定外源硒提前浸种，人工促进水杉种子天然更新，可以保证水杉种子萌发率。

参考文献

FU ZL. 2010. The study on different storage conditions of *Metasequoia glyptostroboides* and *Ulmus pumila* seeds[J]. For Sci &Technol,11: 2-4. [傅紫菱.水杉、白榆种子贮藏条件的初步研究[J]. 林业科技通讯,1981,(11):2-4].

HAN GQ, LI J, SONG MM, et al. 2010. Effects of selenium on the germination of tomato seeds and protective system against active oxygen under salt stress[J]. J. Shihezi Univ (Nat Sci Ed), 4:422-426. [韩广泉,李俊,宋曼曼,等.硒对盐胁迫下加工番茄种子萌发及抗氧化酶系统的影响[J]. 石河子大学学报(自然科学版), 2010, 28(4): 422-426].

HE SM, QIN JS, WU G. 2011. Physiological biochemical effect of Se soaking on soybean seed germination[J]. Soyb Sci, 30(1):158-160. [何士敏,秦家顺,吴刚.硒浸种对大豆种子萌发的生理

生化效应[J]. 大豆科学, 2011, 30(1): 158-160].
HE SM, ZHANG Y, YI H.2012. Effect of soaking seed with selenium on physiological and biochemical characters of *Pisum sativum* germinating[J]. Seed, 31(2):42-47. [何士敏,张燕,易涵. 硒浸种对豌豆种子萌发的生理生化效应[J]. 种子, 2012, 31(2):42-47].
JING DL, LIANG HW, WANG YB, et al. 2011. Influence of different light and storage temperature on germination rate and enzyme activities of *Metasequoia glyptostroboides* seeds. Hubei Agric Sci, 50(19):3980-3983. [景丹龙,梁宏伟,王玉兵,等.不同光照及储藏温度对水杉种子萌发及酶活性的影响[J]. 湖北农业科学, 2011, 50(19):3980-3983].
LI HX, LIU XY, CHEN HL, et al. 2012. Effects of selenium on carrot seed germination and seedling growth[J]. J. Suzhou Univ, 27(02):47-48. [李红侠,刘小阳,陈红玲,等.硒对胡萝卜种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 宿州学院学报,2012 ,27(02):47-48].
LI HF, ZI YS, FAN WH, et al. 2006.Influence of selenium on germination percentage of soybeans seeds. J. Shanxi Agric Uni (Nat Sci Ed), 26(3):256-258. [李会芳,自云生,樊文华等.不同浓度的硒对大豆种子发芽率及幼苗生长的影响[J]. 山西农业大学学报, 2006, 26(3):256-258].
LIAO SZ, ZHOU WL. 1989. Experimentation of seed germination condition of *Metasequoia glyptostroboides*[J]. J. Sichuan For Sci Technol, 1989, 10(l):71-74.[廖绍忠,周万良.水杉种子发芽条件试验[J].四川林业科技,1989,10(l):71-74].
LIN KF, XU XQ, ZHENG L, et al.. 2004. Eco-toxicological effects of selenium on inhibition of seed germination and root elongation of wheat (*Triticum aestivum*)[J]. J. Agro-Environ Sci, 23(5):885-889. [林匡飞,徐小清,郑利,等.Se 对小麦发芽与根伸长抑制的生态毒理效应[J]农业环境科学学报, 2004, 23(5):885-889].
MAO H, WANG ZH.2011. Effects of selenium valence states and concentration on germination and root growth on six crop species[J]. J. Agro-Environ. Sci.,30(10): 1958-1965. [毛晖,王朝晖.硒的价态与浓度水平对 6 种植物种子发芽和根际生长的影响[J].农业环境科学学报, 2011, 30(10): 1958-1965].
LIAO SY, LIANG DL, ZHAO WL, et al. 2013. Phytotoxicity differences among 7 winter wheat genotypes in China when amended selenate and selenite[J]. J. Agro-Environ Sci, 32(10): 1934-1940. [缪淑寅,梁东丽,赵文龙,等.硒酸盐和亚硒酸盐对 7 种不同基因型小麦种子萌发和幼苗生长的影响[J].农业环境科学学报, 2013, 32(10): 1934-1940].
TANG QY.2004.The physiological and biochemical of Se and the primary separation of Se-protein in soybean[D].Hunan Agric Uni. [唐巧玉.大豆中硒的生理生化及其含硒蛋白的初步分离[D]. 湖南农业大学, 2004].
TIAN W, ZHAO YQ, PENG HP, et al. 2006. Effects of total flavone of *Metasequoia glyptostroboides* on the proliferation and collagen synthesis of cardiac fibroblasts in Rats[J]. Chin. J. Basic Med Tradi Chin Med, 1(4):286-288. [田伟,赵永青,彭海平,等.水杉总黄酮对 IGF1 诱导的心肌成纤维细胞增殖和胶原合成的影响[J].中国中医基础医学杂志, 2006, 1(4):286-288].
XIN X, JING XM, SUN HM, et al. 2004. Ecophysiological characteristics of seed germination of the relict plant Metasequoia glyptostroboides[J]. Biodiv. Sci.,12(6):572-577.[辛霞,景新明,孙红梅,等.孑遗植物水杉种子萌发的生理生态特性研究[J].生物多样性,2004,12(6):572-577].
XU XZ, ZHAO GQ, DU J. 2017. Effect of selenium on chilling tolerance during seed inhibition and germination of maize[J].J.Gansu Agric Univ, 52(1):63-67. [许兴泽, 赵桂琴, 杜锦. 硒对玉米种子吸胀期间生理特性和种子发芽能力的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2017, 52(1):63-67].
YANG JJ, CHEN LJ, YANG HX, et al. 2010.Identification and fungi toxicity of volatiles in *Metasequoia glyptostroboides* seeds[J]. Chin J. Eco-Agric, 18(5):1018-1021. [杨俊杰,陈利军,杨

海霞,等.水杉种子挥发物质的鉴定及其抗菌活性测定[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(5):1018-1021].

YANG Y, ZHU LS,PENG XQ, et al.2012.Influence of different selenium concentration on tobacco seed germination[J].J. Hunan Agric Uni (Nat Sci), 38(03):241-244. [杨亚,朱列书,彭细桥,等.硒对烟草种子萌发的影响[J].湖南农业大学学报(自然科学版), 2012, 38(03):241-244].

Yilmaz M. Optimum germination temperature, dormancy, and viability of stored, non-dormant seeds of *Malus trilobata* (Poir.) C.K. Schneid.[J]. Seed Sci Technol, 2008, 36(36):747-756.

YOU DM,LEI G, WANG ZX, et al. Effects of different light conditions on seed germination and seedling growth of *Metasequoia Metasequoia*[C].Paper of the annual meeting of the Chinese Institute of botanical Sciences,1993-2008. [尤冬梅,雷耘,汪正祥,等.不同光照条件对水杉种子萌发和幼苗生长的影响[C]//中国植物学会七十五周年年会论文摘要汇编(1933-2008). 2008].

YOU DM, MA GL. 2008. Preliminary study on the effect of the litter on seed germination of *Metasequoia Metasequoia*[J].J.Nanyang Normal Uni,7(6):51-53. [尤冬梅,马广礼.水杉枯落物对其种子萌发的影响初探[J].南阳师范学院学报,2008,7(6):51-53].

YOU DM.2008.The effect of environmental factors on seed germination and seedling growth of *Metasequoia Metasequoia*[D].Cent. Chi Normal Uni. [尤冬梅.环境因子对水杉种子萌发与幼苗生长的影响研究[D]. 华中师范大学, 2008].

YU FY. 2012.Effects on germination of wheat seeds by selenium under drought stress[D].Henan Uni Sci Technol.[郁飞燕.干旱胁迫下硒对小麦种子萌发的影响[D].河南科技大学, 2012].

ZHANG C,LIU XP,ZHOU DZ, et al. 2003. Effects of selenium on Seed Germination and lipase activity of peanut[J].Hubei Agr Sci,42(3): 36-37. [张弛,刘信平,周大寨,等.硒对花生种子萌发和脂肪酶活力的影响[J]. 湖北农业科学, 2003, 42(3): 36-37].

ZHAO W. 2011. Preliminary Explanation of the mechanism about stimulation of selenium in rice seed germination[D] .Henan Uni Sci Tech. [赵巍.硒促进水稻种子萌发的生理机制初探[D].河南科技大学,2011].

ZHOU DZ, ZHU YC, ZHANG C, et al. 2007.Effect of seed soaking with selenium on seed germination of kidney bean[J].J. Hubei Inst Nation (Nat Sci Ed),25(1): 91-93. [周大寨,朱玉昌,张弛,等.硒浸种对芸豆种子萌发的影响[J]. 湖北民族学院学报(自然科学版) , 2007, 25(1): 91-93].

ZONG SL, LI XY, YE YP. 2012. Advances in studies on chemical constituents and pharmacology of single species *Metasequoia Metasequoia*[J]. J. Chin Med Mate,35(04):662-666. [宗书领,李晓誉,叶益萍.单种属植物水杉的化学成分及药理研究进展[J].中药材, 2012, 35(04):662-666].